

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
19 février 2004 (19.02.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/015447 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ :

G01S 15/89, 7/52

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : BILLON, Didier [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 31-33 Avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2003/050297

(74) Mandataire : LUCAS, Lucas; Thales Intellectual Property, 31-33 Avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(22) Date de dépôt international : 9 juillet 2003 (09.07.2003)

(81) États désignés (national) : CA, US.

(25) Langue de dépôt :

français

(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

02/09997

6 août 2002 (06.08.2002) FR

Publiée :

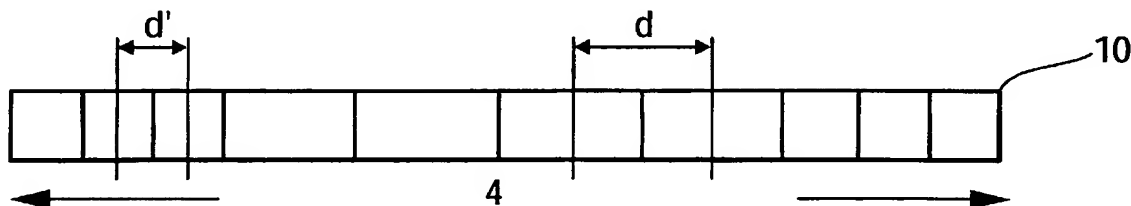
— avec rapport de recherche internationale

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
THALES [FR/FR]; 173, Boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: SYNTHETIC SONAR ANTENNA

(54) Titre : ANTENNE SONAR SYNTHETIQUE



(57) Abstract: The invention relates to a synthetic sonar antenna and particularly to the self-calibration of such an antenna. The number of sensors of the reception antenna (101) is minimized by fixing the reduced pitch between the sensors, which is imposed by the precision of the self-calibration, exclusively at the two ends of the antenna. In an alternative embodiment, the reduced pitch is fixed to only one end of the antenna. The inventive synthetic sonar antenna allows the self-calibration to be made more precise by means of a smaller number of sensors than in prior art.

(57) Abrégé : L'invention concerne une antenne sonar synthétique et plus particulièrement à l'autocalibration d'une telle antenne. Elle consiste à minimiser le nombre de capteurs de l'antenne de réception (101) en fixant le pas réduit entre les capteurs, imposé par la précision de l'autocalibration, uniquement aux deux extrémités de l'antenne. Selon une variante, le pas réduit est fixé qu'à une seule extrémité de l'antenne. Elle permet d'augmenter la précision de l'autocalibration avec un nombre de capteurs plus petit que dans l'art antérieur.

ANTENNE SONAR SYNTHETIQUE

5 La présente invention se rapporte aux antennes sonars qui sont utilisées pour former une antenne synthétique et plus particulièrement à l'autocalibration d'une telle antenne synthétique.

10 Les antennes synthétiques sont bien connues, tant dans le domaine des radars que celui des sonars, et l'autocalibration de telles antennes est une technique elle-même connue, décrite en particulier dans un article de Didier Billon et Franck Fohanno publié dans les actes de "OCEAN 98" par IEE aux pages 965 à 970.

15 L'autocalibration d'une antenne synthétique basée sur la corrélation inter-réurrences consiste à estimer une longueur L d'un déplacement parallèle à l'antenne, un retard τ entre deux signaux corrélés, et une variation de gisement β induite par la rotation de l'antenne, à partir de signaux de deux récurrences successives reçus sur deux intervalles
20 temporels correspondant à un même intervalle de distance et suffisamment petits pour que ces paramètres puissent être supposés constants. La longueur L est la somme, d'une part, des longueurs des composantes parallèles à l'antenne du déplacement entre les deux instants d'émission et d'autre part, du déplacement entre deux instants de réception relatifs au
25 centre de l'intervalle de distance considéré. Si $O\xi$ est l'axe de l'antenne orienté dans le sens du déplacement, l'autocalibration est basée sur la corrélation entre le signal reçu au point d'abscisse ξ à la première récurrence et au point d'abscisse $\xi - L$ à la deuxième récurrence.

30 La précision des estimées dépend notamment du nombre de couples $(\xi, \xi - L)$ d'abscisses sur l'antenne tel que le champ acoustique incident généré par la réverbération du fond de la mer ait des valeurs indépendantes aux abscisses ξ comprises entre $\xi_1 + L$ et ξ_M , ξ_1 et ξ_M étant les abscisses des centres de phase des capteurs extrêmes de l'antenne.

Le nombre de valeurs indépendantes du champ acoustique le long de l'antenne de réception est égal au rapport entre la longueur de l'antenne L_r et la longueur de corrélation du champ le long de l'antenne, laquelle est égale au rapport $\lambda/\Delta\theta$ de la longueur d'onde λ et de la largeur en gisement $\Delta\theta$ du secteur d'émission.

Dans l'art connu, le pas entre les capteurs de l'antenne de réception doit être inférieur à cette longueur de corrélation du champ, le rapport entre les deux longueurs ayant en pratique une valeur de l'ordre de 1,5. Autrement dit, le nombre de capteurs doit être supérieur au nombre de valeurs indépendantes du champ incident le long de l'antenne dans le même rapport.

Ainsi augmenter le nombre de valeurs indépendantes du champ le long de l'antenne, implique dans l'art connu de réduire le pas entre capteurs, donc d'en augmenter le nombre. L'invention vise à obtenir le même effet avec une augmentation moindre que dans l'art antérieur.

L'invention propose dans sa réalisation préférée, une antenne sonar synthétique caractérisée, en ce que la géométrie de l'antenne de réception est optimisée de manière à minimiser le nombre de capteurs en fixant le pas imposé par la précision de l'autocalibration, à au moins une extrémité de l'antenne de réception.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la description suivante, présentée à titre d'exemple non limitatif en regard des figures annexées qui représentent :

- la figure 1, le schéma de l'antenne de réception selon la réalisation préférée de l'invention et,
- la figure 2, le schéma de cette antenne selon une variante de réalisation de l'invention.

Dans la suite de la description, le terme "antenne" seul est relatif à une antenne de réception.

Pour maximiser le taux de couverture horaire du système sonar, il faut que la vitesse de la plate-forme soit proche de la limite supérieure imposée par le principe de l'antenne synthétique. Dans ce cas, la longueur $L/2$ du déplacement inter-récurrences mesuré parallèlement à l'antenne est proche de la longueur L_r de l'antenne. Ainsi les extrémités avec lesquelles est faite la corrélation interrécurrences, de longueur $L_r - L$, comportent alors un nombre de capteurs insuffisant pour permettre une interpolation spatiale satisfaisante.

L'invention propose, comme représenté sur la figure 1, de réduire le pas aux deux extrémités de l'antenne 101, le reste de l'antenne conservant un pas qui est déterminé, comme dans l'art connu, par le niveau désiré du lobe image dans le diagramme de directivité d'une voie, ce qui conduit en pratique à fixer un pas par exemple de l'ordre de $0,7 \cdot \lambda / \Delta\theta$ noté d .

Selon une variante, le pas n'est réduit qu'à une seule extrémité.

Le pas réduit étant noté d' , soit N le nombre de capteurs au pas nominal de d et N' le nombre de capteurs au pas réduit d' (voir figure 1). Le nombre total de capteurs est alors $M = N + N'$. Pour qu'on puisse déterminer par interpolation au moins un couple de signaux $(s(\xi, t), s(\xi - L, t + T_r))$ constitué d'un signal d'une première récurrence et d'un signal d'une deuxième récurrence dont les centres de phase sont distants de L , le paramètre de l'autocalibration étant défini plus haut, il faut satisfaire l'inégalité :

$$L \leq \xi_M - \xi_1 \quad (1)$$

La longueur de l'antenne étant fixée et donnée par l'expression $L_r = Nd + N'd'$ la relation (1) s'écrit de manière équivalente :

$$L \leq L_r - d \quad (2)$$

si le pas y est constant comme dans l'art connu ($N' = 0$), ou bien,

$$L \leq L_r - \frac{d + d'}{2} \quad (2')$$

si le pas est réduit à une seule des deux extrémités, ou bien encore,

$$L \leq L-d' \quad (2'')$$

5

si le pas est réduit aux deux extrémités.

Ainsi, la longueur L_r étant fixée, la limite sur L est plus grande que dans l'art connu si le pas est réduit à une extrémité, et plus grande encore si le pas est réduit aux deux extrémités. Cet avantage est acquis dès
10 lors qu'à une extrémité à pas réduit, il y a au moins un capteur.

Lorsque d est très inférieur à L_r , la moindre limitation de L , donc de la vitesse de la plate-forme, ne constitue qu'un faible avantage relatif par rapport à l'art connu. Mais cette analyse ne tient pas compte de la qualité
15 requise par l'interpolation spatiale de l'autocalibration de l'antenne synthétique.

Selon le gain de résolution désiré pour le traitement d'antenne synthétique, le pas d est déterminé classiquement en fonction de critères de
20 qualité de directivité des voies formées. Or sa valeur s'avère généralement incompatible avec la précision d'autocalibration nécessaire.

Le procédé de l'invention permet dans ce cas une économie substantielle sur le nombre de capteurs de l'antenne, dans un rapport proche de celui du pas d déterminé classiquement et du pas d' fixé par la précision de l'autocalibration si les extrémités de l'antenne porteuses de la corrélation inter-réurrences ont une longueur très inférieure à la longueur totale de l'antenne. Ce cas peut notamment se représenter quand on exploite le
25 procédé d'autocalibration décrit dans la demande de brevet publiée en France sous le n° 2 769 372. Il y est exposé un procédé permettant de réduire la longueur de ces extrémités tout en conservant une précision
30 d'autocalibration suffisante grâce à la prise en compte dans le traitement de mesures gyrométriques.

La condition (1) n'est valable que si une interpolation linéaire est suffisante. Par exemple, si $\xi_1 < \xi_M - L < \xi_2$, l'interpolation est faite selon la formule :

$$s(\xi_M - L, t + T_r) = \frac{(\xi_2 - \xi_M + L)s(\xi_1, t + T_r) + (\xi_M - L - \xi_1)s(\xi_2, t + T_r)}{\xi_2 - \xi_1} \quad (3)$$

Cette interpolation peut s'avérer insuffisamment précise dans le cas d'une antenne dont le pas constant d est déterminé, comme dans l'art antérieur, indépendamment de la contrainte liée à la précision de l'interpolation dans l'autocalibration. Si K est l'ordre de l'interpolation requise avec une telle antenne, $K = 1$ correspondant à une interpolation linéaire, $K = 2$ correspondant à une interpolation parabolique et ainsi de suite, il faut alors remplacer si $K > 2$, la condition (2) par la condition plus strict

$$L \leq L_r - (K + 1) \frac{d}{2}.$$

15

On peut choisir le pas réduit d' afin que l'interpolation linéaire (3) soit suffisante. Il suffit alors qu'il y ait 2 capteurs à pas réduit à l'une des deux extrémités. En Effet, au lieu d'interpoler les signaux des deux premiers capteurs de la deuxième récurrence, reçus à $t + T_r$, pour déterminer le signal de centre de phase $\xi_M - L$, les signaux des deux derniers capteurs de la première récurrence, reçus à t , sont interpolés selon une formule analogue à (3) pour déterminer le signal de centre de phase $\xi_1 + L$.

20

De manière générale, la mise en œuvre du procédé de l'invention n'implique pas que le pas soit réduit sur toute la longueur $L_r - L$ d'une extrémité de l'antenne, l'intérêt du pas réduit pas rapport au pas nominal n'étant réel que pour les quelques capteurs d'extrémité, typiquement par exemple entre 1 et 4, afin de pallier la perte de précision de l'interpolation spatiale due aux effets de bord.

25

30

REVENDICATIONS

1 – Antenne sonar synthétique caractérisée en ce que la géométrie de l'antenne de réception est optimisée de manière à minimiser le nombre de capteurs en fixant le pas imposé par la précision de l'autocalibration à au moins une extrémité de l'antenne de réception.

2 – Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'on augmente le nombre de capteurs à chaque extrémité de l'antenne par rapport à la partie centrale pour obtenir un pas plus fin de ces capteurs à ces extrémités.

3 – Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'on augmente le nombre de capteurs à une seule extrémité de l'antenne par rapport à la partie centrale pour obtenir un pas plus fin de ces capteurs à cette extrémité.

I / I

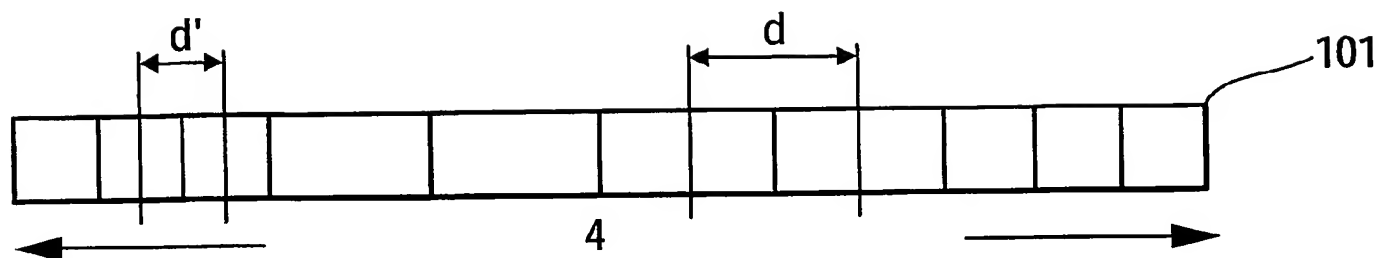


Fig. 1

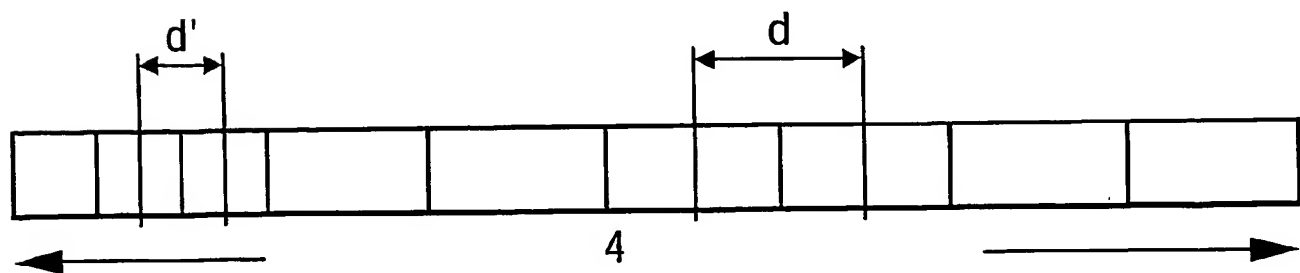


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/50297

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01S15/89 G01S7/52

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>BILLON D ET AL: "Theoretical performance and experimental results for synthetic aperture sonar self-calibration"</p> <p>OCEANS '98 CONFERENCE PROCEEDINGS NICE, FRANCE 28 SEPT.-1 OCT. 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US,</p> <p>28 September 1998 (1998-09-28), pages 965-970, XP010311671</p> <p>ISBN: 0-7803-5045-6</p> <p>cited in the application abstract</p> <p>paragraph '000I! - paragraph '00IV!;</p> <p>figures 1-6</p> <p style="text-align: center;">--- -/--</p>	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 October 2003

Date of mailing of the international search report

14/11/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Blonde1, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/50297

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>WD 99 18452 A (THOMSON MARCONI SONAR SAS ;BILLON DIDIER (FR)) 15 April 1999 (1999-04-15) cited in the application abstract page 6, line 23 -page 9, line 21; figures 1-3</p>	1
A	<p>DOUGLAS B L ET AL: "SINGLE-REFERENCE CALIBRATION TECHNIQUE FOR MULTIPLE-ELEMENT ARRAY SONAR IMAGING SYSTEMS" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 100, no. 1, 1 July 1996 (1996-07-01), pages 400-407, XP000623722 ISSN: 0001-4966 abstract paragraph '000I! - paragraph '00IV!; figures 1-13</p>	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/50297

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9918452	A	15-04-1999	FR 2769372 A1 09-04-1999
			CA 2304845 A1 15-04-1999
			DE 69805533 D1 27-06-2002
			DE 69805533 T2 05-12-2002
			EP 1019747 A1 19-07-2000
			WO 9918452 A1 15-04-1999
			US 6304513 B1 16-10-2001

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/EP 03/50297

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G01S15/89 G01S7/52

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>BILLON D ET AL: "Theoretical performance and experimental results for synthetic aperture sonar self-calibration" OCEANS '98 CONFERENCE PROCEEDINGS NICE, FRANCE 28 SEPT.-1 OCT. 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 28 septembre 1998 (1998-09-28), pages 965-970, XP010311671 ISBN: 0-7803-5045-6 cité dans la demande abrégé alinéa '000I! - alinéa '00IV!; figures 1-6</p> <p style="text-align: center;">--- -/-</p>	1

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

Z document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

17 octobre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

14/11/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5618 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Blondel, F

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/EP 03/50297

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 99 18452 A (THOMSON MARCONI SONAR SAS ;BILLON DIDIER (FR)) 15 avril 1999 (1999-04-15) cité dans la demande abrégé page 6, ligne 23 -page 9, ligne 21; figures 1-3	1
A	----- DOUGLAS B L ET AL: "SINGLE-REFERENCE CALIBRATION TECHNIQUE FOR MULTIPLE-ELEMENT ARRAY SONAR IMAGING SYSTEMS" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 100, no. 1, 1 juillet 1996 (1996-07-01), pages 400-407, XP000623722 ISSN: 0001-4966 abrégé alinéa '000I! - alinéa '00IV!; figures 1-13 -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/EP 03/50297

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9918452	A	15-04-1999	FR 2769372 A1 09-04-1999
		CA 2304845 A1 15-04-1999	
		DE 69805533 D1 27-06-2002	
		DE 69805533 T2 05-12-2002	
		EP 1019747 A1 19-07-2000	
		WO 9918452 A1 15-04-1999	
		US 6304513 B1 16-10-2001	